

PC 10818

5

10

**Verfahren und Vorrichtung zum Regeln der Fahrdynamik eines
Fahrzeugs**

15 Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Regeln
der Fahrdynamik eines Fahrzeugs, bei dem eine Lenkbewegung
nach Maßgabe einer Stellgröße vorgenommen wird, die in
Abhängigkeit einer Abweichung zwischen einem Sollwert und
einem Istwert einer Fahrzustandsgröße berechnet wird.

20

Die Erfindung betrifft zudem eine Vorrichtung zum Regeln
der Fahrdynamik eines Fahrzeugs mit einer Regeleinheit, die
aufgrund der Abweichung eines erfassten Istwertes einer
Fahrzustandsgröße von einem vorgegebenen Sollwert eine
25 Stellgröße ermittelt, nach deren Maßgabe eine Lenkbewegung
ausgeführt wird.

In Fahrzeugen eingesetzte ESP-Systeme zur Durchführung
eines elektronischen Stabilitätsprogramms (ESP) gemäß dem
30 Stande der Technik greifen zur Stabilisierung des Fahrzeugs
in ein Bremsensystem und in ein Verbrennungsmotormanagement
ein. Durch die Eingriffe werden dabei Giermomente erzeugt,
die einem Über- oder Untersteuern des Fahrzeugs und
störende Gierbewegungen des Fahrzeugs verursachenden
35 Störmomenten entgegen wirken.

Ein Blockdiagramm eines solchen ESP-Systems ist in der Figur 1 gezeigt. Anhand eines von dem Fahrer 110 des Fahrzeugs 150 vorgegebenen Lenkwinkels δ_{Drv} wird dabei von einer Recheneinheit 120 unter Zugrundelegung eines Fahrzeugreferenzmodells ein Referenzwert $\dot{\psi}_M$ für die Gierrate des Fahrzeugs 150 ermittelt. Dieser Referenzwert $\dot{\psi}_M$ wird durch eine Regeleinheit 130 mit einem durch einen Gierratensensor erfassten Istwert $\dot{\psi}$ der Gierrate verglichen. Übersteigt die Differenz zwischen dem Istwert $\dot{\psi}$ und dem Referenzwert $\dot{\psi}_M$ einen vorgegebenen Schwellenwert, so werden in Abhängigkeit der Regelabweichung ein Satz P_{WhlRef} von radindividuellen Bremsdrücken und ein Motormoment u_{Mot} bestimmt und durch eine weitere Einheit 140 als Stellsignale an das Bremsensystem und das Verbrennungsmotormanagement des Fahrzeugs 150 übermittelt.

Bei dem Regeleingriff wird ebenfalls die aktuelle Fahrsituation berücksichtigt, die anhand weiterer Informationen berechnet wird. Diese Informationen umfassen beispielsweise den von dem Fahrer vorgegebenen Bremsdruck P_{Drv} , den Satz ω_{Whl} der einzelnen Radgeschwindigkeiten, die Fahrzeugquerbeschleunigung a_y und optional den Satz P_{Whl} der radindividuellen Bremsdrücke und erlauben beispielsweise die Berechnung der Fahrzeuggeschwindigkeit.

Insbesondere der durch das ESP-System vorgenommene Bremseneingriff ist jedoch für den Fahrer als Fahrzeugverzögerung deutlich spürbar und kann deshalb aus Komfortgründen nur im fahrdynamisch kritischen Bereich angewendet werden. Im unterkritischen Handlingbereich sind die bremsenbasierten Stelleingriffe nur bedingt akzeptabel.

Die vorgenommenen Motoreingriffe gehen mit störenden Lenk-
kraftschwankungen einher und bieten darüber hinaus aufgrund
ihrer eingeschränkten Dynamik prinzipbedingt gar nicht das
Potential, den Fahrer im Handlingbereich wirkungsvoll
5 unterstützen zu können.

Es wurde bereits vorgeschlagen, eine Gierratenregelung auf
der Grundlage von Eingriffen in das Lenksystem eines
Fahrzeugs durchzuführen und durch zusätzliche, die
10 Lenkbewegung des Fahrers überlagernde Lenkbewegungen ein
Giermoment zu erzeugen, das dem Über- oder Untersteuern
entgegenwirkt sowie Störmomente kompensiert.

Eine auf Lenkeingriffen basierende Gierratenregelung
15 besitzt dabei das Potenzial dafür, den Fahrer auch bei
unkritischen Fahrmanövern zu unterstützen, und so das
Handling sowie insbesondere die Agilität des Fahrzeugs zu
verbessern.

20 Voraussetzung dafür ist jedoch, dass die zusätzlichen Lenk-
bewegungen von dem Fahrer des Fahrzeugs nicht als störend
wahrgenommen werden.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, bei einer
25 Fahrdynamikregelung vorgenommene Lenkeingriffe möglichst
harmonisch auf Lenkbewegungen des Fahrers abzustimmen.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch ein Verfahren nach
dem Patentanspruch 1 gelöst.

30

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe zudem durch eine
Vorrichtung nach dem Patentanspruch 7 gelöst.

Vorteilhafte Weiterbildungen des Verfahrens sind Gegenstand der Ansprüche 2 bis 6.

Weiterbildungen der Vorrichtung sind Gegenstand des
5 Anspruchs 8.

- Es ist dabei insbesondere vorgesehen, ein Verfahren zum Regeln der Fahrdynamik eines Fahrzeugs, bei dem eine Lenkbewegung nach Maßgabe einer Stellgröße vorgenommen
10 wird, die in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen einem Sollwert und einem erfassten Istwert einer Fahrzustandsgröße berechnet wird, so durchzuführen, dass wenigstens ein Zugehörigkeitsgrad eines erfassten Wertes eines von einem Fahrer eingestellten Lenkwinkels und/oder
15 eines von dem Fahrer eingestellten Lenkwinkelgradienten zu einer vorgegebenen unscharfen Menge ermittelt wird und ein Wert der Stellgröße in Abhängigkeit des Zugehörigkeitsgrades verändert wird.
- 20 Bei der Stellgröße handelt es sich vorzugsweise um einen Lenkwinkel, der mittels einer sog. Überlagerungslenkung zusätzlich zu dem von dem Fahrer vorgegebenen Lenkwinkel an einem lenkbaren Rad des Fahrzeugs eingestellt wird.
- 25 Die Erfindung ermöglicht es, die Lenkvorgaben des Fahrers bei der Generierung der zusätzlichen Lenkbewegung zu berücksichtigen und die Lenkeingriffe zur Regelung der Fahrdynamik für den Fahrer komfortabler zu gestalten. Hierdurch wird es möglich, Regeleingriffe auch in
30 unkritischen Fahrsituationen vornehmen zu können und damit die Agilität des Fahrzeugs zu erhöhen.

Bei der Stellgröße handelt es sich vorzugsweise um einen Lenkwinkel, der mittels einer sog. Überlagerungslenkung

zusätzlich zu dem von dem Fahrer vorgegebenen Lenkwinkel an einem lenkbaren Rad des Fahrzeugs eingestellt wird.

- Regeleingriffe zur Verbesserung der Agilität eines
- 5 Fahrzeugs sind dabei sowohl im Hinblick auf den Fahrspaß des Fahrers als auch im Hinblick auf die Fahrsicherheit sinnvoll und vorteilhaft:

- Insbesondere bei Lenkvorgaben mit hohen
- 10 Lenkwinkelgradienten reagiert das Fahrzeug aufgrund der elastischen Fahrwerkselemente sowie seiner Trägheit verzögert. Dies wird von dem Fahrer als indirektes Reaktionsverhalten und als Einbuße des Fahrspaßes empfunden. Bei Ausweichmanövern ist es zudem häufig zu
- 15 beobachten, dass ein Fahrer aufgrund des verzögerten Fahrzeugfolgeverhaltens zu große Lenkwinkel einstellt, so dass die verzögerte Fahrzeugreaktion heftiger ausfällt, als der Fahrer es erwartet, und das Fahrzeug instabil werden kann.

- 20 Vorteilhaft können anhand des erfindungsgemäßen Verfahrens nun autonome Lenkeingriffe zur Verbesserung der Agilität und des Folgeverhaltens eines Fahrzeugs durchgeführt und harmonisch auf das Verhalten des Fahrers abgestimmt werden.

- 25 Ein erfindungsgemäßer Vorteil besteht dabei insbesondere darin, dass die Lenkbewegungen des Fahrers entsprechend seiner subjektiven Wahrnehmung als "starke" oder "schwache" Lenkbewegungen mit "kleinen" oder "großen" Lenkwinkeln und
- 30 Lenkwinkelgradienten klassifiziert werden können.

Dies wird dadurch erreicht, dass die linguistischen Werte "klein" und "groß" durch unscharfe Mengen, sogenannte Fuzzy-Mengen, beschrieben werden. Die Zugehörigkeit eines

Wertes, beispielsweise eines Messwertes eines Lenkwinkelsensors zu einer Fuzzy-Menge, wird dabei durch den Zugehörigkeitsgrad des Wertes zu dieser Menge dargestellt, der sich als Funktionswert einer sogenannten
5 Zugehörigkeitsfunktion ergibt und Werte aus dem Intervall $[0,1]$ annimmt.

Im Rahmen umfangreicher Fahrversuche hat sich gezeigt, dass zusätzliche Lenkeingriffe mit betragsmäßig großen
10 zusätzlichen Lenkwinkeln von dem Fahrer nicht toleriert werden, wenn er selbst gar nicht oder nur wenig über das Lenkrad in das Lenkgeschehen eingreift. Volle fahrdynamische Unterstützung seitens eines Fahrdynamikreglers muss dagegen in Fahrsituationen erfolgen, in denen der Fahrer
15 erheblichen Lenkaufwand leistet.

In einer sehr bevorzugten Durchführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird diesen Beobachtungen dadurch Rechnung getragen, dass die Stellgröße aufgrund
20 einer Fuzzy-Regel verändert wird, derzufolge der Wert der Stellgröße verringert wird, wenn der Betrag des von dem Fahrer eingestellten Lenkwinkels und der Betrag des von dem Fahrer eingestellten Lenkwinkelgradienten "klein" sind.

25 Zweckmäßigerweise werden in dieser Durchführungsform daher die Zugehörigkeitsgrade der erfassten Werte des von dem Fahrer eingestellten Lenkwinkels und des von dem Fahrer eingestellten Lenkwinkelgradienten zu einer Menge "kleiner" Lenkwinkel beziehungsweise "kleiner" Lenkwinkelgradienten
30 bestimmt. Dies wird vorzugsweise anhand von geeigneten linksseitig berandeten Zugehörigkeitsfunktionen durchgeführt, durch die insbesondere dem Wert Null für den

Lenkwinkel beziehungsweise den Lenkwinkelgradienten der Zugehörigkeitsgrad Eins zugeordnet wird.

Die Konklusion der Fuzzy-Regel wird vorzugsweise dadurch realisiert, dass der Wert der Stellgröße mit einem geeignet aus den Zugehörigkeitsgraden gebildeten Faktor multipliziert wird, so dass keine Defuzzifizierung der Stellgröße vorgenommen werden muss.

10 Eine besonders gute Anpassung der zusätzlichen Lenkbewegung an das Lenkverhalten des Fahrers wird zudem erreicht, wenn auch bei geringen Werten des von ihm eingestellten Lenkwinkelgradienten, nicht jedoch bei geringen Lenkwinkeln, eine zusätzliche Lenkbewegung ausgeführt wird.

15 Daher ist es vorteilhaft vorgesehen, dass die Menge "kleiner" Lenkwinkel im Gegensatz zu der Menge "kleiner" Lenkwinkelgradienten keine Toleranz aufweist.

20 Eine weitere bevorzugte Durchführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zeichnet sich dadurch aus, dass neben der Anpassung der Lenkeingriffe an das Lenkverhalten des Fahrers eine Anpassung an die Fahrzeuggeschwindigkeit durchgeführt wird.

25 Es wurde festgestellt, dass fahrdynamische Eingriffe in die Lenkung bei sehr "niedrigen" Geschwindigkeiten nahezu wirkungslos sind und daher unterbleiben können. Bei sehr "hohen" Geschwindigkeiten sind "geringe" Lenkbewegungen
30 probat, um keine Instabilitäten des Fahrzeugs hervorzurufen.

In einer weiteren bevorzugten Durchführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es daher vorgesehen, dass

der Wert der Stellgröße in Abhängigkeit eines erfassten Wertes einer Fahrzeuggeschwindigkeit verändert wird.

Vorzugsweise wird dabei der Wert der Stellgröße
5 insbesondere in Abhängigkeit des Zugehörigkeitsgrades des erfassten Wertes der Fahrzeuggeschwindigkeit zu einer Menge "mittlerer" Geschwindigkeiten verändert.

Durch eine geeignete Wahl der Zugehörigkeitsfunktion der
10 Menge "mittlerer" Geschwindigkeiten kann dabei vorteilhaft erreicht werden, dass die zusätzliche Lenkbewegung vollständig unterdrückt wird, wenn der erfasste Wert der Fahrzeuggeschwindigkeit unterhalb eines ersten Grenzwertes oder oberhalb eines zweiten Grenzwertes liegt.

15 Neben dem beschriebenen Verfahren schafft die Erfindung zudem eine vorteilhafte Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

20 Die Vorrichtung zum Regeln der Fahrdynamik eines Fahrzeugs mit einer Regeleinheit, die aufgrund der Abweichung eines erfassten Istwerts einer Fahrzustandsgröße von einem vorgegebenen Sollwert eine Stellgröße ermittelt, nach deren Maßgabe eine Lenkbewegung ausgeführt wird, zeichnet sich
25 insbesondere dadurch aus, dass sie eine Fuzzy-Logikeinheit zum Ermitteln des Zugehörigkeitsgrades eines Wertes des von dem Fahrer eingestellten Lenkwinkels zu einer unscharfen Menge "kleiner" Lenkwinkel und eines Zugehörigkeitsgrades eines von dem Fahrer eingestellten Lenkwinkelgradienten zu
30 einer unscharfen Menge "kleiner" Lenkwinkelgradienten und zum Verändern eines Wertes der Stellgröße anhand einer Verknüpfung der Zugehörigkeitsgrade enthält.

In einer bevorzugten Ausgestaltung umfasst die Vorrichtung zudem eine Logikeinheit zum Ermitteln eines Zugehörigkeitsgrades eines erfassten Wertes der Fahrzeuggeschwindigkeit zu einer unscharfen Menge "mittlerer" Geschwindigkeiten und
5 zum Verändern des Wertes der Stellgröße in Abhängigkeit dieses Zugehörigkeitsgrades.

Weitere Vorteile und zweckmäßige Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen der
10 folgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele anhand der Figuren.

Von den Figuren zeigt:

- 15 Fig. 1 Ein Blockdiagramm eines ESP-Systems nach dem Stande der Technik,
- Fig. 2 ein Blockdiagramm eines ESP-Systems mit integrierter erfindungsgemäßer Vorrichtung,
- 20 Fig. 3a ein Diagramm mit dem zeitlichen Verlauf der Referenzgierrate und der Ist-Gierrate,
- Fig. 3b ein weiteres Diagramm mit dem zeitlichen Verlauf der Referenzgierrate und der Ist-Gierrate,
- 25 Fig. 4 ein Blockdiagramm der erfindungsgemäßen Vorrichtung,
- 30 Fig. 5 die Zugehörigkeitsfunktion der Menge "mittlerer" Fahrzeuggeschwindigkeiten,
- Fig. 6 ein Blockdiagramm einer Logikeinheit,

Fig. 7a ein Diagramm mit der Zugehörigkeitsfunktion der Menge "kleiner" Lenkwinkel,

5 Fig. 7b ein Diagramm mit der Zugehörigkeitsfunktion der Menge "kleiner" Lenkwinkelgradienten und

Fig. 8 ein Diagramm mit einer Hysteresekurve.

10 Das in der Figur 2 dargestellte Blockdiagramm eines ESP-Systems mit integrierter erfindungsgemäßer Vorrichtung weist übereinstimmend mit dem eingangs beschriebenen ESP-System nach dem Stand der Technik eine Einheit 220 zum Berechnen einer Sollgierrate $\dot{\psi}_M$ einen Gierratenregler 230
15 zum Berechnen einer Stellgröße in Abhängigkeit des Ergebnisses des Vergleichs der Differenz der erfassten Ist-Gierrate $\dot{\psi}$ und der Sollgierrate $\dot{\psi}_M$ mit einem Schwellenwert und eine Einheit 240 zum Übertragen der Stellsignale P_{whlRef} und u_{Mot} an das Bremsensystem und das Motormanagement des
20 Fahrzeugs 250 auf.

Eingangsgrößen für das System sind ebenfalls der von einem Fahrer 210 vorgegebene Bremsdruck P_{drv} , der von dem Fahrer 210 vorgegebene Lenkwinkel δ_{drv} , die gemessene Ist-Gierrate
25 $\dot{\psi}$ des Fahrzeugs 250, die gemessene Querbeschleunigung a_y , der Satz ω_{whl} der Radgeschwindigkeiten und der Satz P_{whl} der radindividuellen Bremsdrücke des Fahrzeugs 250.

Die bekannte Vorrichtung wird erfindungsgemäß durch die
30 Regeleinheit 260, die Logikeinheiten 270 und 280 sowie eine Überlagerungslenkung 290 ergänzt. Die Ausgangsgrößen der erfindungsgemäß erweiterten Vorrichtung sind der Satz

P_{WhlRef} der radindividuellen Bremsdrücke, das Motormoment $\underline{u}_{\text{Mot}}$ und zusätzlich ein an den lenkbaren Rädern des Fahrzeugs 250 bzw. ein vor dem Lenkgetriebe der Lenkung des Fahrzeugs 250 einzustellender Lenkwinkel δ_{Whl} .

5

Durch die Überlagerungslenkung 290 wird die von dem Fahrer 210 des Fahrzeugs 250 initiierte Lenkbewegung mit einer zusätzlichen Lenkbewegung nach Maßgabe eines Zusatzlenkwinkel $\Delta\delta_{\text{Zus}}$ überlagert.

10

Der vor einem Lenkgetriebe des Fahrzeugs 250, beispielsweise an einem Lenkritzel einer Zahnstangenlenkung auftretende Lenkwinkel δ_{Whl} , ergibt sich dabei aus der Summe des von dem Fahrer vorgegebenen Lenkwinkels δ_{Drv} und des Zusatzlenkwinkels $\Delta\delta_{\text{Zus}}$ und wird durch das Lenkgetriebe an die lenkbaren Räder des Fahrzeugs 250 übertragen. Dabei stellt das Lenkgetriebe eine Lenkübersetzung i zur Verfügung, so dass sich ein Lenkwinkel von δ_{Whl}/i an den lenkbaren Rädern des Fahrzeugs 250 ergibt.

20

Die Überlagerungslenkung 290 besitzt einen elektromechanischen Aktuator, der über ein Getriebe in den Lenkstrang einer konventionellen hydraulischen oder elektrischen Servolenkung eingreift. Bei dem Getriebe kann es sich beispielsweise um ein Planetengetriebe handeln, bei dem das Lenkritzel durch die Eingriffe des Aktuators gegenüber dem Lenkrad verdreht werden kann.

25

Zusätzliche Lenkbewegungen können jedoch ebenfalls in einem sogenannten Steer-by-Wire-Lenksystem erzeugt werden, bei dem eine mechanische Verbindung zwischen Lenkrad und Lenkgetriebe durch elektromechanische Verbindungen ersetzt

30

ist. Ein derartiges Lenksystem eignet sich daher ebenfalls für einen Einsatz im Rahmen der Erfindung.

5 Darüber hinaus kann die Überlagerungslenkung 290 mit der Funktion einer frei wählbaren Lenkübersetzung i zwischen der Fahrervorgabe δ_{drv} und dem Radeinschlagswinkel ausgerüstet sein.

10 Diese Funktion kann durch die Einheit 300 ausgeführt werden, um beispielsweise eine geschwindigkeitsabhängige Lenkübersetzung i zu realisieren, bei der im unteren Geschwindigkeitsbereich eine sehr direkte Übersetzung i eingestellt wird, um dem Fahrer das Manövrieren zu erleichtern, und im oberen Geschwindigkeitsbereich eine
15 sehr indirekte Übersetzung gewählt wird, um einen störungsfreien Geradeauslauf des Fahrzeugs 250 zu gewährleisten.

Die Einheit 300 berechnet dafür den Lenkwinkel $\delta_{VARI} = \ddot{u}_{VARI} \cdot \delta_{drv}$ anhand eines geschwindigkeitsabhängigen Faktors \ddot{u}_{VARI}
20 und überträgt diesen an den Aktuator der Überlagerungslenkung 290, der einen Lenkwinkel δ_{whl} an dem Lenkgetriebe einstellt, welcher der Summe aus dem Lenkwinkel δ_{VARI} und dem Zusatzlenkwinkel $\Delta\delta_{ZUS}$ entspricht.

25 Vorzugsweise geht die Erfindung von einem Fahrzeug 250 mit vier an zwei Achsen angeordneten Rädern aus. Lenkeingriffe können dabei sowohl an der Vorderachse als auch an der Hinterachse oder an beiden Achsen des Fahrzeugs 250
30 gleichzeitig vorgenommen werden.

Autonome Lenkeingriffe zur Verbesserung der Agilität eines Fahrzeugs 250 sind zur Erhöhung der Fahrsicherheit und des

Fahrspaßes für den Fahrer 210 sinnvoll und verbessern das Fahrzeugfolgeverhalten, das insbesondere bei Lenkvorgaben mit großen Lenkwinkelgradienten $\dot{\delta}_{drv}$ wegen der Elastizität von Fahrwerkelementen wie Reifen und Gummilagern sowie der
5 Fahrzeugträgheit aufgrund der Trägheitsmomente bzgl. der Hoch- und Längsachse verzögert ist.

Eine dem durch den Fahrer 210 vorgegebenen Lenkwinkel δ_{drv} entsprechende Soll- bzw. Wunsch-Fahrzeuggierrate $\dot{\psi}_M$ wird
10 in dem Diagramm in der Figur 3a mit der verzögerten Fahrzeug-Istgierrate $\dot{\psi}$ verglichen.

Anhand der Figur wird dabei deutlich, dass ein Phasenverzug Δt in der Fahrzeugreaktion besteht. Bezüglich der Agilität
15 wird dies von dem Fahrer 210 des Fahrzeugs 250 als indirektes Reaktionsverhalten und damit als Einbuße beim Fahrspaß empfunden.

Der Phasenverzug Δt in der Fahrzeugreaktion kann aber auch
20 zu sicherheitskritischen Situationen führen. Muss ein Fahrer 210 zum Beispiel einem Hindernis schnell ausweichen, tendiert er in der Regel aufgrund des verzögerten Fahrzeugfolgeverhaltens zum "Überlenken", um zu einem Zeitpunkt t_0 am Fahrzeug 250 den gewünschten Wert $\dot{\psi}_0$ für
25 die Gierrate $\dot{\psi}$ einzustellen. Tritt dann die volle sich infolge der Fahrervorgabe ergebende Fahrzeugreaktion zu der Zeit $t_0 + \Delta t$ ein, ist sie viel heftiger als der Fahrer es erwartet, so dass dieser oft die Kontrolle über das Fahrzeug verliert. In dem Diagramm in der Figur 3b ist
30 dabei die Gierratenüberhöhung $\Delta\dot{\psi}$ gezeigt, die sich infolge eines "Überlenkens" ergibt.

Bei der vorstehend beschriebenen Vorrichtung zur Verbesserung des Fahrzeugfolgeverhaltens wird die innerhalb des ESP-Steuergerätes 220 in dem Fahrzeugreferenzmodell berechnete Sollgierrate $\dot{\psi}_M$, die sich aufgrund des von dem
5 Fahrer 210 vorgegebenen Lenkwinkels δ_{Drv} für das Fahrzeug 250 ergeben sollte, zur Berechnung des Zusatzlenkwinkels $\Delta\delta_{Zus}$ übernommen.

Das Fahrzeugsollverhalten wird von einem Fahrzeughersteller
10 entsprechend seiner Philosophie festgelegt und in Form von Softwareparametern in der Einheit 220 abgelegt.

Bei Durchführung der Fahrdynamikregelung wird das tatsächliche Fahrzeugfolgeverhalten während der Fahrt
15 permanent durch einen Gierratensensor überwacht, der die aktuelle Fahrzeug-Istgierrate $\dot{\psi}$ ermittelt.

Abhängig von der Regelabweichung e zwischen Soll- und Istreaktion wird ein Zusatzlenkwinkel $\Delta\delta_{Zus}$ berechnet. Mittels
20 der Überlagerungslenkung 290 wird dann die durch den Fahrer 210 des Fahrzeugs 250 initiierte Lenkbewegung mit einer zusätzlichen Lenkbewegung nach Maßgabe des Zusatzlenkwinkels $\Delta\delta_{Zus}$ überlagert, so dass sich vor dem Lenkgetriebe des Fahrzeugs ein Lenkwinkel δ_{Whl} ergibt,
25 welcher der Summe des von dem Fahrer 210 eingestellten Lenkwinkels δ_{Drv} und des Zusatzlenkwinkels $\Delta\delta_{Zus}$ entspricht.

Falls eine variable, beispielsweise geschwindigkeitsabhängige, Lenkübersetzung im Systemverbund
30 integriert ist, wird nicht der von dem Fahrer 210 eingestellte Lenkwinkel δ_{Drv} , sondern der mit einem Übersetzungsfaktor \dot{u}_{VARI} multiplizierter Wert δ_{VARI} mit dem Zusatzlenkwinkel $\Delta\delta_{Zus}$ addiert.

Zur Bestimmung des Zusatzlenkwinkels $\Delta\delta_{zus}$ sind die drei Blöcke 260, 270 und 280 vorgesehen, die in der Figur 4 noch einmal dargestellt sind und im Folgenden genauer
5 beschrieben werden.

Die Eingangsgröße der Einheit 260 ("Adaptive Controller") stellt die Regelabweichung e zwischen der Referenzgierrate $\dot{\psi}_M$ der gemessenen Fahrzeug-Istgierrate $\dot{\psi}$ dar, die als
10 Differenz zwischen diesen beiden Größen durch einen Subtrahierer 310 berechnet wird. Die Einheit 260 beinhaltet einen Regler zum Berechnen einer Stellgröße u , bei dem es sich vorzugsweise um einen Portionalregler mit Differenzialanteil (PD-Regler) handelt.

15 Dieser berechnet die Stellgröße u gemäß der Zeitfunktion,

$$u = K \cdot e + T_d \cdot \dot{e}$$

wobei \dot{e} die zeitliche Ableitung der Abweichung e darstellt.

20 Die Reglerparameter K und T_d sind dabei nicht fest vorgegeben, sondern lassen sich durch einen Adaptionsmechanismus dem aktuellen Fahrzustand anpassen. Beispielsweise kommen unterschiedliche Reglerparametersätze
25 RP für den unkritischen und den kritischen Fahrbereich zum Einsatz. Es kann ebenfalls eine Anpassung an den Beladungszustand des Fahrzeugs 250 vorgenommen werden.

Der nachfolgende Block 270 ("Consideration of vehicle
30 velocity") passt das durch den Block 260 berechnete Stellsignal u an die aktuelle Fahrzeuggeschwindigkeit v_{veh} an, deren Wert aus den Messsignalen der Raddrehzahlsensoren bestimmt wird.

Es wurde festgestellt, dass fahrdynamische Eingriffe in die Lenkung bei sehr niedrigen Geschwindigkeiten nahezu wirkungslos sind und bei hohen Geschwindigkeiten reduziert werden müssen, um keine Instabilitäten des Fahrzeugs hervorzurufen.

Daher wird in einem ersten Schritt der Zugehörigkeitsgrad λ_v des aktuellen Werts der Fahrzeuggeschwindigkeit v_{veh} zu einer Menge "mittlerer" Geschwindigkeiten ermittelt. Die Zugehörigkeitsfunktion λ_v als deren Funktionswerte sich die Zugehörigkeit λ_v ergeben, ist in dem Diagramm in der Figur 5 dargestellt.

Es handelt sich dabei um eine trapezförmige Zugehörigkeitsfunktion λ_v : Liegt der Wert der Fahrzeuggeschwindigkeit v_{veh} unterhalb des Wertes v_{low} oder oberhalb des Wertes v_{high} , so ergibt sich ein Zugehörigkeitsgrad von $\lambda_v = 0$. Die Parameter v_{low} und v_{high} nehmen dabei beispielsweise Werte von 30 km/h und 200 km/h an. Volle Zugehörigkeit mit dem Zugehörigkeitsgrad $\lambda_v = 1$ zu der Menge "mittlerer" Geschwindigkeiten liegt dagegen vor, wenn die Fahrzeuggeschwindigkeit v_{veh} Werte zwischen v_{n1} und v_{n2} annimmt.

Die vorgenannte Feststellung bezüglich der Wirksamkeit der Lenkeingriffe führt zu der Fuzzy-Regel "WENN die Fahrzeuggeschwindigkeit v_{veh} "klein" oder "groß" ist, DANN nimmt die Stellgröße u den Wert $u = 0$ an".

Die Konklusion der Regel wird in einem zweiten Schritt in einfacher Weise dadurch realisiert, dass das Stellsignal u mit dem in dem ersten Schritt ermittelten

Zugehörigkeitsgrad λ_v multipliziert wird. Ausgangsgröße der Einheit 270 ist somit das Signal u_v mit

$$u_v = \lambda_v \cdot u$$

- 5 Das Signal u_v wird dann durch die Einheit 280 ("Activation Logic")bearbeitet, die sich aus zwei nichtlinearen Blöcken 330 und 340 zusammensetzt und in dem Blockdiagramm in der Figur 6 veranschaulicht ist.
- 10 Der Block 330 gewichtet sein Eingangssignal u_v entsprechend den Lenkaktivitäten des Fahrers 210 und generiert die kontinuierliche Zwischengröße u_{fuz} . Anhand einer nicht linearen Hystereseffunktion u_{dig} wird in dem Block 340 dann ein digitales Signal u_{dig} , welches nur die Werte Null und
- 15 Eins annehmen kann, berechnet, das mit dem Signal u_{fuz} verknüpft wird, um den Zusatzlenkwinkel $\Delta\delta_{zus}$ zu bestimmen.

Im Rahmen umfangreicher Fahrversuche hat sich gezeigt, dass Lenkeingriffe mit betragsmäßig großen Zusatzlenkwinkeln

20 $\Delta\delta_{zus}$ von dem Fahrer 210 nicht toleriert werden, wenn er selbst gar nicht oder nur wenig über das Lenkrad in das Lenkgeschehen eingreift. Volle fahrdynamische Unterstützung seitens des Dynamikreglers muss dagegen in Fahrsituationen erfolgen, bei denen der Fahrer 210 erheblichen Lenkaufwand

25 leistet. Um die externen Lenkeingriffe des Regelsystems im Hinblick hierauf für den Fahrer 210 komfortabel zu gestalten, werden die Lenkvorgaben des Fahrers 210 daher bei der Generierung des Zusatzlenkwinkels $\Delta\delta_{zus}$ berücksichtigt.

30

Der Lenkaufwand ist hierbei durch den Betrag $|\delta_{drv}|$ des von dem Fahrer 210 eingestellten Lenkwinkels δ_{drv} und dem Betrag

$|\delta_{drv}|$ des von dem Fahrer 210 eingestellten Lenkwinkelgradienten δ_{drv} charakterisiert.

Ähnlich der Vorgehensweise bei der Anpassung der Stellgröße
5 u an die Fahrzeuggeschwindigkeit v_{veh} erfolgt auch die
Berechnung der Zwischengröße u_{fuz} durch den Block 330 anhand
einer Fuzzy-Regel. Sie lautet hier:

"WENN der Betrag $|\delta_{drv}|$ des von dem Fahrer eingestellten
10 Lenkwinkels δ_{drv} "klein" ist UND der Betrag $|\delta_{drv}|$ des von
dem Fahrer eingestellten Lenkwinkelgradienten δ_{drv} "klein"
ist, DANN ist auch die Größe u_{fuz} "klein"."

Diese Regel formuliert kurz und prägnant die zuvor
15 beschriebenen Notwendigkeiten für die betragsmäßige
Bestimmung des Zusatzlenkwinkels $\Delta\delta_{zus}$. Der linguistische
Wert "klein" für die Beträge $|\delta_{drv}|$ und $|\delta_{drv}|$ wird hierbei
jeweils wiederum durch eine Fuzzy-Menge beschrieben.

20 Die Zugehörigkeitsfunktion λ_1 der Menge "kleiner" Beträge $|\delta_{drv}|$
ist in dem Diagramm in der Figur 7a dargestellt. Das
Diagramm in der Figur 7b zeigt die Zugehörigkeitsfunktion
 λ_2 der Menge "kleiner" Beträge $|\delta_{drv}|$.

25 Es handelt sich dabei um linksseitig berandete
Zugehörigkeitsfunktionen: Ein von Null verschiedener
Zugehörigkeitsgrad λ_1 zu der Menge "kleiner" Beträge $|\delta_{drv}|$
ergibt sich nur dann, wenn der Betrag $|\delta_{drv}|$ des von dem
Fahrer 210 eingestellten Lenkwinkels δ_{drv} kleiner als ein
30 Wert δ_2 ist, und ein Zugehörigkeitsgrad von $\lambda_1 = 1$ liegt
vor, wenn der Betrag $|\delta_{drv}|$ des von dem Fahrer 210 einge-
stellten Lenkwinkels λ_{drv} kleiner als ein Wert δ_1 ist. Die

Parameter δ_1 und δ_2 nehmen beispielsweise Werte von 5° und 15° an.

Die Zugehörigkeitsfunktion λ_2 wird als linksseitig
5 berandete dreiecksförmige Zugehörigkeitsfunktion angegeben.
Ein von Null verschiedener Zugehörigkeitsgrad λ_2 ergibt
sich nur dann, wenn der von dem Fahrer 210 eingestellte
Lenkwinkelgradient δ_{drv} betragsmäßig kleiner als ein Wert
 δ_1 ist, und ein Zugehörigkeitsgrad von $\lambda_2 = 1$ liegt nur für
10 $\delta_{drv} = 0$ vor.

Sind die Zugehörigkeitsgrade λ_1 und λ_2 durch den Block 330
festgestellt worden, wird im nächsten Schritt die UND-
Operation der vorgenannten Regel nachgebildet. Dafür werden
15 die Zugehörigkeitsgrade λ_1 und λ_2 , wie es in der Fuzzy-
Logik üblich ist, durch eine Minimum-Operation verknüpft.
Es wird dabei die Größe λ durch
$$\lambda = \min\{\lambda_1, \lambda_2\}$$

berechnet.

20 Liegt der Wert von λ nahe dem Wert Eins, bedeutet das, dass
der fahrerseitige Lenkaufwand gering ist und die
Bedingungen für eine erhebliche Abschwächung des
Stellsignals u_v erfüllt sind. Bewegt sich der Wert von λ
25 dagegen um den Wert Null, leistet der Fahrer erheblichen
Lenkaufwand, und der Zusatzlenkwinkel $\Delta\delta_{zus}$ soll in vollem
Maße aufgebracht werden.

Die Größe u_{fuz} wird somit in der folgenden Weise berechnet:
30
$$u_{fuz} = u_v \cdot (1 - \lambda)$$

Zur Bestimmung des einzustellenden Zusatzlenkwinkels $\Delta\delta_{zus}$
wird das Signal u_{fuz} schließlich durch den Block 340

bearbeitet. Dieser bestimmt die Größe u_{dig} anhand der in der Figur 8 dargestellten Hysteresekurve aus dem Signal u_{fuz} und der Zusatzlenkwinkel $\Delta\delta_{zus}$ wird nachfolgend durch Multiplikation der Stellgröße u_{fuz} mit der Größe u_{dig}
5 bestimmt. Dies wird von einem Multiplikator 350 vorgenommen.

Übersteigt das Eingangssignal u_{fuz} des Blocks 340 einen Wert u_2 , ist das Ausgangssignal $u_{dig} = 1$ und behält diesen Wert
10 solange, bis u_{fuz} kleiner als ein Wert u_1 wird.

Das Signal u_{dig} stellt somit ein zusätzliches Anforderungssignal, ein sogenanntes Request-Flag dar, durch das eine zusätzliche Bewertung der Stellanforderungen
15 vorgenommen wird. Insbesondere werden dabei sehr kleine Stellanforderungen, für die sich ein Wert von $u_{dig} = 0$ ergibt, hart weggeblendet und führen zu keinerlei Aktuatoraktivität innerhalb der Überlagerungslenkung 290.

20 Diese Maßnahme reduziert den Stellaufwand des Aktuators und hat bei Stellsystemen mit haptischen Rückwirkungen auf das Lenkrad den Vorteil, dass sich das Lenkgefühl für den Fahrer 210 erheblich verbessert. Kleine, für die Dynamik des Fahrzeugs 250 eher vernachlässigbare
25 Zusatzlenkeingriffe werden völlig unterdrückt und somit von dem Fahrer nicht als störende Momentschwankungen am Lenkrad empfunden.

Der durch Multiplikation von u_{dig} und u_{fuz} berechnete Wert
30 $\Delta\delta_{zus}$ wird schließlich als Stellanforderung zu dem Aktuator der Überlagerungslenkung 290 gesendet. Er stellt damit die Ausgangsgröße der beschriebenen Vorrichtung dar.

Durch die von dem Regelsystem berechneten externen
35 Lenkeingriffe wird der Fahrer 210 bei seiner

Kursführungsaufgabe im unterkritischen Fahrbereich wirkungsvoll unterstützt. Die Agilität des Fahrzeugs wird erhöht und ein Überreißen der Lenkung bzw. bei Ausweichmanövern wird verhindert.

5 Durch die harmonische Abstimmung der einzelnen Regelungskomponenten und die Anpassung des Lenkeingriffs an die Fahrzeuggeschwindigkeit v_{veh} und insbesondere an die Aktivitäten des Fahrers 210 bleibt der erzeugte
10 Zusatzlenkeingriff von dem Fahrer 210 unbemerkt und beeinträchtigt ihn nicht. Eine erhöhte Lenknervosität durch den Handlingregler wird zudem durch intelligente Aktivierungsmechanismen verhindert.

15 In kritischen Fahrsituationen können die erfindungsgemäßen Lenkeingriffe mit herkömmlichem Bremsen und Motoreingriffen eines ESP-Systems kombiniert werden, um diese besser bewältigen zu können als durch Bremsen- und Motoreingriffe allein.

20 Durch die Lenkeingriffe werden diese Eingriffe erst später notwendig.

Die Erfindung stellt somit ein vorteilhaftes,
25 gierratenbasiertes Regelsystem bereit, mit dem anhand von Fahrervorgaben und der sensorisch erfassten Fahrzeugreaktion Zusatzlenkwinkel $\Delta\delta_{Zus}$ in unkritischen Fahrsituationen berechnet werden können, die das Fahrzeugfolgeverhalten für den Fahrer 210 spürbar verbessern.
30 Die erfindungsgemäßen Vorteile beinhalten dabei sowohl eine Komforterhöhung, insbesondere eine Erhöhung der Agilität, als auch eine höhere Sicherheit für das Fahrzeug 250.

Patentansprüche:

1. Verfahren zum Regeln der Fahrdynamik eines Fahrzeugs (250), bei dem eine Lenkbewegung nach Maßgabe einer Stellgröße (u) vorgenommen wird, die in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen einem Sollwert ($\dot{\psi}_M$) und einem erfassten Istwert ($\dot{\psi}$) einer Fahrzustandsgröße ($\dot{\psi}$) berechnet wird,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass wenigstens ein Zugehörigkeitsgrad (λ_1, λ_2) eines erfassten Wertes (δ_{Drv}) eines von einem Fahrer (210) eingestellten Lenkwinkels (δ_{Drv}) und/oder eines von dem Fahrer (210) eingestellten Lenkwinkelgradienten ($\dot{\delta}_{Drv}$) zu einer vorgegebenen unscharfen Menge ermittelt wird, und ein Wert ($\Delta\delta_{Zus}$) der Stellgröße (u) in Abhängigkeit des Zugehörigkeitsgrades (λ_1, λ_2) verändert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass der Zugehörigkeitsgrad (λ_1) des Wertes (δ_{Drv}) des von dem Fahrer (210) eingestellten Lenkwinkels (δ_{Drv}) zu einer Menge "kleiner" Lenkwinkel bestimmt wird.
3. Verfahren nach einem oder beiden der Ansprüche 1 und 2
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass der Zugehörigkeitsgrad (λ_2) des von dem Fahrer (210) eingestellten Lenkwinkelgradienten ($\dot{\delta}_{Drv}$) zu einer Menge "kleiner" Lenkwinkelgradienten bestimmt wird.
4. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass der Wert ($\Delta\delta_{Zus}$) der Stellgröße (u) in Abhängigkeit

eines erfassten Wertes einer Fahrzeuggeschwindigkeit (v_{veh}) verändert wird.

5. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,

dass der Wert ($\Delta\delta_{zus}$) der Stellgröße (u) in Abhängigkeit des Zugehörigkeitsgrades (λ_v) des erfassten Wertes (v_{veh}) der Fahrzeuggeschwindigkeit (v_{veh}) zu einer Menge „mittlerer“ Geschwindigkeiten verändert wird.

6. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,

dass die Lenkbewegung unterdrückt wird, wenn der erfasste Wert (v_{veh}) der Fahrzeuggeschwindigkeit (v_{veh}) unterhalb eines ersten Grenzwertes (v_{low}) oder oberhalb eines zweiten Grenzwerts (v_{high}) liegt.

7. Vorrichtung zum Regeln der Fahrdynamik eines Fahrzeugs (250), mit einer Regeleinheit (260), die aufgrund der Abweichung eines erfassten Istwerts ($\dot{\psi}$) einer Fahrzustandsgröße ($\dot{\psi}$) von einem vorgegebenen Sollwert ($\dot{\psi}_M$) eine Stellgröße (u) ermittelt, nach deren Maßgabe eine Lenkbewegung ausgeführt wird

und mit

einer Fuzzy-Logikeinheit (280) zum Ermitteln des Zugehörigkeitsgrades (λ_1) eines Wertes (δ_{Drv}) eines von dem Fahrer (210) eingestellten Lenkwinkels (δ_{Drv}) zu einer unscharfen Menge "kleiner" Lenkwinkel und eines Zugehörigkeitsgrades (λ_2) eines von dem Fahrer eingestellten Lenkwinkelgradienten ($\dot{\delta}_{Drv}$) zu einer Menge "kleiner" Lenkwinkelgradienten und zum Verändern eines

Wertes ($\Delta\delta_{\text{zus}}$) der Stellgröße (u) anhand einer Verknüpfung der Zugehörigkeitsgrade (λ_1, λ_2).

8. Vorrichtung nach Anspruch 7,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass eine Logikeinheit (270) zum Ermitteln eines Zugehörigkeitsgrades (λ_v) eines erfassten Wertes (v_{veh}) eines Fahrzeuggeschwindigkeit (v_{veh}) zu einer unscharfen Menge „mittlerer„ Geschwindigkeiten und zum Verändern des Wertes ($\Delta\delta_{\text{zus}}$) der Stellgröße (u) in Abhängigkeit dieses Zugehörigkeitsgrades (λ_v).

Zusammenfassung:

Verfahren und Vorrichtung zum Regeln der Fahrdynamik eines Fahrzeugs

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Regeln der Fahrdynamik eines Fahrzeugs, bei dem eine Lenkbewegung nach Maßgabe einer Stellgröße vorgenommen wird, die in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen einem Sollwert und einem erfassten Istwert einer Fahrzustandsgröße berechnet wird.

Das Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass wenigstens ein Zugehörigkeitsgrad eines erfassten Wertes eines von einem Fahrer eingestellten Lenkwinkels und/oder eines von dem Fahrer eingestellten Lenkwinkelgradienten zu einer vorgegebenen unscharfen Menge ermittelt wird, und ein Wert der Stellgröße in Abhängigkeit des Zugehörigkeitsgrades verändert wird.